

# Compact Wideband LTCC Bandpass Filter Using Dual-Layer Hexagonal Shape SIRs

Yanming Zhang<sup>1</sup>, Jianan Wang<sup>1</sup>, Yuting Cai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou

<sup>2</sup>School of Computer Science and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou

Email: [zhangxj@cumt.edu.cn](mailto:zhangxj@cumt.edu.cn)

Received: Feb. 7<sup>th</sup>, 2014; revised: Mar. 2<sup>nd</sup>, 2014; accepted: Mar. 10<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

A compact wideband bandpass filter, exploiting dual-layer hexagonal shape open-loop folded step-impedance-resonator (SIR), using low temperature co-fired ceramic (LTCC) technology, has been designed and fabricated. The filter is composed of four hexagonal shape open-loop SIRs embedded in multilayer thin ceramic to produce a compact size, which exploits coupling by overlapping of low impedance parts of SIRs. The capacitive coupling is purposely established between the two open ends of low impedance part of the resonator to further reduce the resonance frequency. The volume of the filter is  $8.0 \times 6.0 \times 1.0 \text{ mm}^3$ . The proposed topology is demonstrated with a design operating at 5.80 GHz with about 21.0% bandwidth. More than 30 dB of spurious suppression from 7.5 to 11 GHz is demonstrated in the experimental results.

## Keywords

Double Layer Step-Impedance-Resonator (SIR); LTCC; Band Pass Filter

---

# 基于双层六边形SIR小型化LTCC 宽带带通滤波器

张言明<sup>1</sup>, 王家男<sup>1</sup>, 蔡宇停<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国矿业大学信息与电气工程学院, 徐州

<sup>2</sup>中国矿业大学计算机科学与技术学院, 徐州

Email: [zhangxj@cumt.edu.cn](mailto:zhangxj@cumt.edu.cn)

收稿日期: 2014年2月7日; 修回日期: 2014年3月2日; 录用日期: 2014年3月10日

## 摘要

本文利用双层六边形开环阶梯阻抗谐振器(Step Impedance Resonator, SIR)设计小型低温共烧陶瓷(Low Temperature Co-fired Ceramic, LTCC)滤波器, 该滤波器是由四个双层六边形开环SIR集成在多层陶瓷介质中利用低阻抗部分耦合产生一个紧凑的尺寸微波滤波器, 谐振器低阻抗部分开口端产生容性耦合目的是进一步降低谐振频率。所设计的电路尺寸为 $8.0 \times 6.0 \times 1.0 \text{ mm}^3$ , 测试结果表明滤波器在中心频率5.80 GHz处具有21%的相对带宽。从7.5到11 GHz具有超过30 dB的抑制, 性能良好。

## 关键词

双层SIR; LTCC; 带通滤波器

## 1. 引言

无线通信系统中的当前趋势是小型化和高集成化。系统中关键无源元件-滤波器, 近年来小型化, 低成本和良好的性能滤波器吸引了大量研究者的研究兴趣[1] [2], 已经提出了许多方法来设计微波滤波器。在文献[1]中利用多模带线谐振结构设计宽带滤波器, 利用层叠环形谐振结构设计双模滤波器, 还有利用阶梯阻抗谐振器设计的双频带通滤波器[3], 这些滤波器利用传统的PCB工艺, 特别是多个谐振器使得滤波器的尺寸较大, 很难满足现在微波系统小型化的要求。在微波电路的多种工艺中, 低温共烧陶瓷(Low temperature co-fired ceramic, LTCC)技术把微波元件与系统集成在多层陶瓷介质中实现三维集成可以有效地减小封装面积, LTCC技术是减小元件与系统集的重量和提高性能的有效途径, 在文献[4]中利用LTCC技术设计出垂直折叠的阶梯阻抗双频滤波器, 样品尺寸较小, 实现小型化, 有效解决了传统PCB工艺中带线结构的尺寸较大的问题。然而, 具有紧凑的尺寸宽带BPF设计仍然是挑战。在本文中, 设计出一种新颖双层六边形阶梯谐振器(Step Impedance Resonator, SIR), 并利用该谐振器设计小型化的宽带LTCC带通滤波器。仿真和测试结果显示滤波器中心频率为5.80 GHz, 相对带宽为20.4%, 性能良好适用于无线通讯系统。

## 2. 双层六边形终端开口 SIR

如图1所示的六边形环SIR是一个由印制在两层陶瓷介质上的低阻抗部分和高阻抗两部分组成, 从而降低了电路的面积。低阻抗部分弯曲形成一个开口电容。两端较强的耦合是有目的的产生较大的电容, 也建立信号从输入到输出端口另一条路径之间。六边形谐振器的优势是相比与四边形谐振腔可以引入较强的耦合。图1(b)为谐振器的前视图。图2为SIR谐振器的等效电路。这种谐振腔的电磁特性在文献[5]有详细的理论分析和实验验证。

由于此款谐振器是对称的, 可以利用奇偶模分析方法化分析电路的特性[5] [6]。相应的谐振频率可以由简化电路导出。令输入导纳 $Y_{in}^o$ 为零, 奇模的谐振条件可由(1)导出[7]。

$$Z_1 \left( \frac{1}{2\omega C_1} - Z_1 \tan \theta_1 \right) - Z_2 \tan \theta_2 \left( Z_1 + \frac{\tan \theta_1}{2\omega C_1} \right) = 0 \quad (1)$$

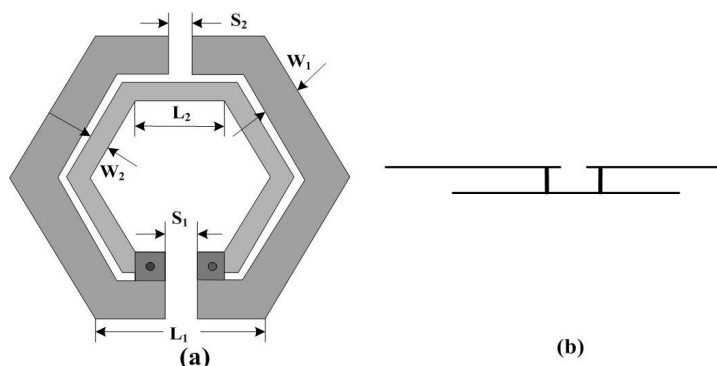


Figure 1. The structure of dual-layer hexagonal shape SIR: (a) Top view; (b) Front view

图 1. 双层六边形终端开口 SIR 结构; (a) 俯视图; (b) 前视图

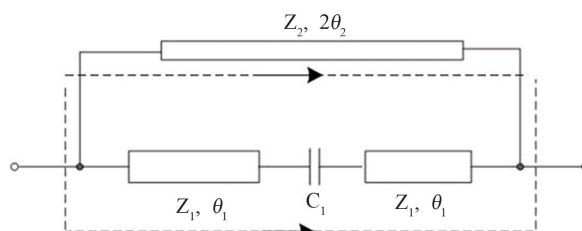


Figure 2. Equivalent circuit of resonator

图 2. 谐振器的等效电路图

同理，偶模谐振频率也可由令  $Y_m^e = 0$  导出。再根据谐振频率，由公式(2)可以导出带线的长度。

$$Z_2 \tan \theta_1 + Z_1 \tan \theta_2 = 0 \quad (2)$$

### 3. LTCC 滤波器的设计

利用上述的谐振腔设计的滤波器结构如图 3 所示；这款滤波器是由四个相同的 SIRS 构成。第一谐振器的低阻抗部分印制在的是第一层介质上，厚度为 0.3 mm。第一个谐振器的高阻抗部分、第二和第三谐振器的高阻抗部分被印制在第二层，其厚度为 0.1 mm。第二和第三谐振器的低阻抗部分印制在上第四层，该层的厚度为 0.1 mm。第四个谐振器高阻部分和耦合带状线印制在第四层，厚度为 0.1 mm。第四谐振器的低阻抗部分是印刷在第五层，厚度为 0.1 mm 耦合带状线通过金属过孔和输入、输出端口的共面波导相连，输入、输出信号通过耦合带状线耦合到第一、三谐振器，共面波导(CPW)印制在第六层介质上通过金属通孔。第六层介质的厚度为 0.3 mm。如图 3(b)显示，四谐振器的低阻抗部分重叠目的是引入谐振器间的耦合。为了电磁能量集中在滤波器内部上、下地面用金属过孔链接，在滤波器前后两个面印刷金属图层。

为了验证上述设计方法，在利用 LTCC 技术加工所设计的滤波器，该滤波器的总厚度为 1 mm。陶瓷介质的相对介电常数为 5.9，利用 Ansoft HFSS 仿真和优化滤波器的几何尺寸，最终优化值如下： $L_1 = 1.4$  mm,  $W_1 = 0.35$  mm,  $L_2 = 0.72$  mm,  $W_2 = 1.2$  mm,  $S_1 = 0.3$  mm,  $S_2 = 0.2$  mm,  $L_3 = 0.92$  mm 和  $L_4 = 0.4$  mm, 第二和第三谐振器之间的距离是  $L_5 = 0.6$  mm, 输入、输入耦合部分宽度和谐振器低阻抗部分宽度一样，器的整体尺寸为  $8.0 \times 6.0 \times 1.0$  mm<sup>3</sup>。仿真和测试结果如图 4 所示，滤波器的中心频率为 5.80 GHz，相对带宽 21%。测得的最小插损包括从 CPW 和 SL 之间的过渡是 1.2 dB，带内回波损耗大于 10 dB，从 7.5 GHz 到 11 GHz 具有超过 30 dB 衰减。测量结果与模拟值的接近一致。

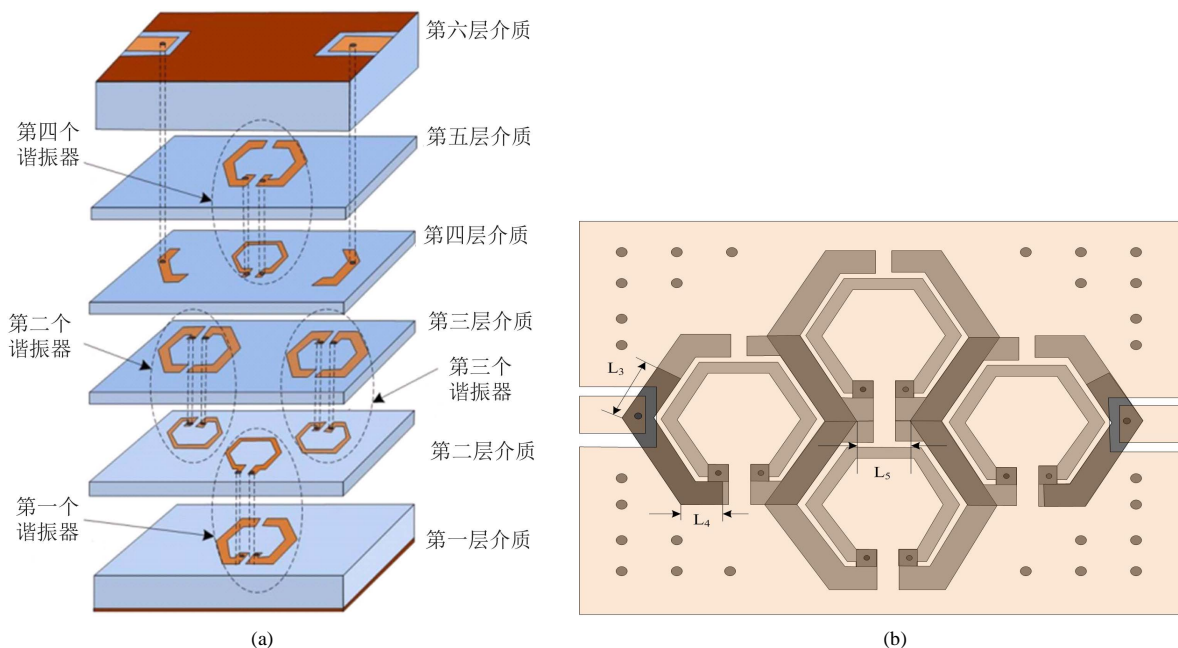


Figure 3. Layout of proposed two-band BPF; (a) Three-dimensional view, (b) Top view  
 图 3. LTCC 滤波器结构图; (a) 三维结构图; (b) 俯视图

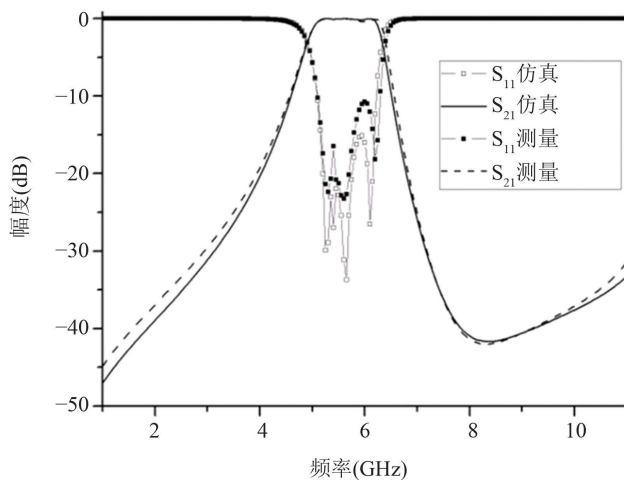


Figure 4. Simulated and measured results for the proposed filter  
 图 4. 滤波器特性仿真与测试结果

#### 4. 结论

本文设计并加工一款小型化的 LTCC 宽带带通滤波器。该滤波器采用双层六边形 SIRs 印在多层陶瓷，其体积的  $8.0 \times 6.0 \times 1.0 \text{ mm}^3$ 。滤波器中心频率为 5.80 GHz，相对带宽约 21%，从 7.5 到 11 GHz 超过 30 dB 的抑制。简单的多层平面结构、小型化的尺寸以及良好的性能使得它在无线局域网中具有较好的应用前景。

#### 致 谢

本研究受到第 47 批中国博士后基金面上项目资助基金资助，基金编号：20100471410。

## 参考文献 (References)

- [1] Nosrati, M. and Mirzaee, M. (2010) Compact wideband microstrip bandpass filter using quasi-spiral loaded multiple-mode resonator. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, **20**, 607-609.
- [2] Chen, J.-X., Yum, T.Y., Li, J.-L. and Xue, Q. (2006) Dual-mode dual-band bandpass filter using stacked-loop structure. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, **16**, 502-504.
- [3] Chang, S.F., Jeng, Y.H. and Chen, J.L. (2004) Dual-band step-impedance bandpass filter for multimode wireless LANs. *Electronics Letters*, **40**, 38-39.
- [4] Chin, K.-S., Hung, J.-L., Huang, C.-W., Fu, J.S., Chen, B.-G. and Chen, T.-J. (2010) LTCC dual-band stepped-impedance-stub filter constructed with vertically folded structure. *Electronics Letters*, **46**, 1554-1556.
- [5] Kundu, A.C. and Awai, I. (2001) Control of attenuation pole frequency of a dual-mode microstrip ring resonator bandpass filter. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, **49**, 1113-1117.
- [6] Lugo, C. and Papapolymerou, J. (2005) Bandpass filter design using a microstrip triangular loop resonator with dual-mode operation. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, **15**, 475-477.
- [7] Chin, K.-S., et al. (2007) Microstrip open-loop resonator with multispurious suppression. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, **17**, 574-576.